



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Matemáticas

Escuela Profesional de Investigación Operativa

Optimización en la programación de horarios de editores y asignación de islas de edición, para la post-producción de programas de un canal de televisión en Lima, aplicando programación lineal entera

TESINA

Para optar el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa

AUTOR

Jesús CUYCAPOSA ROJAS

Lima, Perú

2016



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Cuycaposa, J. (2016). *Optimización en la programación de horarios de editores y asignación de islas de edición, para la post-producción de programas de un canal de televisión en Lima, aplicando programación lineal entera*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Escuela Profesional de Investigación Operativa]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS

PROGRAMA DE ACTUALIZACIÓN PARA LA TITULACIÓN PROFESIONAL 2016 - II

MODALIDAD EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

(RR. N° 03849-R-16)

ESCUELA PROFESIONAL DE INVESTIGACION OPERATIVA

ACTA DE EXPOSICIÓN DE TESINA

En la Ciudad Universitaria, Facultad de Ciencias Matemáticas, siendo las 12...horas, del día 10...de Diciembre del 2016, se reunieron las docentes designadas como miembros del Jurado Evaluador:

Lic. Juan Julio Toledo Rodríguez

Presidente

Lic. Paulo Cesar Olivares Taípe

Miembro

Para la exposición de la Tesina titulada: Optimización en la programación de horarios de editores y asignación de islas de edición, para la post-producción de programas de un canal de televisión en Lima, aplicando programación lineal entera. presentada por el **Br. Jesús Cuycaposa Rojas**

Luego de la exposición de la tesina, los Miembros del Jurado hicieron las preguntas correspondientes, a las cuales el **Br. Jesús Cuycaposa Rojas**

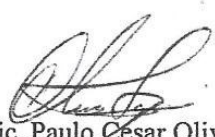
respondió con acierto y solvencia, demostrando pleno conocimiento del tema.

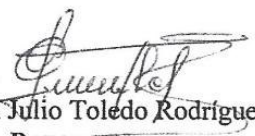
Hecha la evaluación correspondiente, según tabla adjunta, el **Br. . Jesús Cuycaposa Rojas**

mereció la aprobación obteniendo como calificativo promedio y la nota de Quince... (15)... (letras y números).

A **continuación**, los Miembros del Jurado Evaluador, dan manifiesto que el **Br. Jesús Cuycaposa Rojas** aprobó la exposición de la tesina.

Siendo las 12:30 horas, se levantó la sesión, firmando para constancia la presente acta en dos (2) copias originales.


Lic. Paulo Cesar Olivares Taípe
MIEMBRO


Lic. Juan Julio Toledo Rodríguez
PRESIDENTE

**OPTIMIZACIÓN EN LA PROGRAMACIÓN DE HORARIOS DE EDITORES Y
ASIGNACIÓN DE ISLAS DE EDICIÓN, PARA LA POST-PRODUCCIÓN DE
PROGRAMAS DE UN CANAL DE TELEVISIÓN EN LIMA, APLICANDO
PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA**

Jesús Cuycaposa Rojas

Tesina presentada a consideración del Cuerpo Docente de la Facultad de Ciencias Matemáticas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, como parte de los requisitos para optar el título profesional de Licenciado en Investigación Operativa.

Aprobada por:



Juan Julio Toledo Rodríguez

Paulo Cesar Olivares Taipe

Lima – Perú

Noviembre – 2016

FICHA CATALOGRÁFICA

CUYCAPOSA ROJAS, JESÚS

OPTIMIZACIÓN EN LA PROGRAMACIÓN DE HORARIOS DE EDITORES Y ASIGNACIÓN DE ISLAS DE EDICIÓN, PARA LA POST-PRODUCCIÓN DE PROGRAMAS DE UN CANAL DE TELEVISIÓN EN LIMA, APLICANDO PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA

Lima 2016.

vii, 40 p., 29.7 cm (UNMSM, Licenciado, Investigación Operativa, 2016).

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Facultad de Ciencias Matemáticas

Investigación Operativa

UNMSM / FdeCM

DEDICATORIA

A mis padres Elena y Jesús que con su esfuerzo, dedicación y ejemplo supieron hacer de mí una persona que llegue a concluir con éxitos mi carrera, encontrándose siempre a mi lado y fortaleciendo cada día los más nobles valores del ser humano.

A la persona que amo, con su apoyo y compañía supo estar en los momentos más difíciles y darme fuerzas para luchar por algo y valorar lo bueno de lo que hay en la vida, mis amigos que con su constancia me hicieron ver lo que puedo dar de mí como persona y ser capaz de lograr todo lo que me proponga.

A quienes fueron mis jefes y considero mentores, Jessika Marquez, Walter Aldana, Felix Murrugarra y Edgar Alarcon, que con su guía y apoyo, contribuyeron en mi crecimiento personal y profesional.

Resumen

OPTIMIZACIÓN EN LA PROGRAMACIÓN DE HORARIOS DE EDITORES Y ASIGNACIÓN DE ISLAS DE EDICIÓN, PARA LA POST-PRODUCCIÓN DE PROGRAMAS DE UN CANAL DE TELEVISIÓN EN LIMA, APLICANDO PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA

Jesús Cuycaposa Rojas

Noviembre – 2016

Título obtenido : Licenciado en Investigación Operativa

Este trabajo presenta un modelo de programación lineal entero aplicado al proceso de programación de horarios de trabajo y asignación de equipos en un período prefijado de tiempo, satisfaciendo un conjunto de restricciones de varios tipos, conocidos como problema de timetabling.

Las parejas de editores y los programas que post producen asociadas a los intervalos de tiempo se modelan por los parámetros establecidos, según las preferencias del canal de televisión. En base a las características del proceso de programación de horarios de trabajo se modelan las restricciones. Los resultados sobre este problema se presentan y se comparan con la programación de una semana cualquiera.

Palabras clave: Timetabling, post producción.

Abstract

OPTIMIZATION IN THE SCHEDULING OF EDITORS AND EDIT SUITE FOR THE POST-PRODUCTION OF TELEVISION'S PROGRAM IN A LIMA'S CHANNEL, APPLYING INTEGER LINEAR PROGRAMMING

Jesús Cuycaposa Rojas

November – 2016

Degree obtained : Operational Research Licensed

This paper presents an integer linear programming model applied to the process of scheduling and assigning work teams in a predetermined period, satisfying a set of constraints of various types, known as timetabling problem.

Pairs of editors and post produce programs associated with the time intervals are modeled by the set parameters, according to the preferences of the TV channel. Based on the characteristics of the process of scheduling work restrictions are modeled. The results on this problem are presented and compared with any programming a week.

Key Word: Timtabling, post production.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	x
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1. Situación Problemática	3
1.2. Formulación del Problema	6
1.2.1. Problema General	6
1.2.2. Problemas Específicos	6
1.3. Objetivos	7
1.3.1. Objetivo General.....	7
1.3.2. Objetivos Específicos.....	7
1.4. Justificación de la investigación	7
1.5. Limitaciones del estudio	8
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	9
2.1. Antecedentes de investigación.....	9
2.1.1. Antecedentes Nacionales.....	9
2.1.2. Antecedentes Extranjeros	10
2.2. Bases teóricas.....	11
2.2.1. Programación lineal.....	11
2.2.2. Programación Lineal Entera	12
2.2.3. Problema de Programación Lineal Binaria (PPLB)	13
2.2.4. Timetabling	14
2.3. Bases conceptuales	16
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....	18
3.1. Análisis del proceso	18
3.2. Contexto del problema.....	19
3.3. Formulación del modelo	20
3.3.1. Conjuntos.....	21
3.3.2. Parámetros	21
3.3.3. Variables de Decisión	22
3.3.4. Función Objetivo	22
3.3.5. Restricciones.....	22
3.4. Análisis y presentación de resultados	23

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados.....	24
4.1.1. Primera etapa.....	27
4.1.2. Segunda etapa.....	27
4.2. Presentación de resultados	28
CONCLUSIONES.....	30
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
ANEXOS	32
Anexo 01: Modelo matemático en la primera etapa	32
Anexo 02: Modelo matemático en la segunda etapa.....	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Programación de horarios actual para la post producción de programas de televisión	20
Tabla 2: Vector INTH _(j) de intensidad horaria de programas de tv	24
Tabla 3: Matriz PE _(j, k) de programas de tv que pueden ser editados por operadores de edición.....	25
Tabla 4: Matriz FP _(i, j) de franjas horarias disponibles para la edición de programas de tv.....	25
Tabla 5: Matriz FE _(i, k) de franjas horarias disponibles para la edición de programas de tv.....	25
Tabla 6: Matriz PI _(j, l) de programas de tv que pueden ser editados en las islas de edición	25
Tabla 7: Matriz CFP _(i, j, l) de costos (en soles).....	26
Tabla 8: Solución de la programación de horarios en la primera etapa.....	27
Tabla 9: Solución de la programación de horarios en la segunda etapa.....	28
Tabla 10: Cuadro comparativo de los costos de la programación de horarios actual y propuesta.....	29

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Estructura orgánica del Canal de televisión	3
Gráfico 2: Interacción entre el proceso de Producción de programas y el proceso de Operaciones de producción	4
Gráfico 3: Sub proceso de Programación de operaciones para la post producción	5
Gráfico 4: Operadores de edición e islas de edición	6
Gráfico 5: Fases del estudio.....	18

INTRODUCCIÓN

Los problemas generados por una inadecuada asignación de recursos para la producción de bienes o servicios se encuentran presentes en todas las organizaciones, tal es el caso de los canales de televisión, quienes deben asignar los recursos necesarios, para la producción de contenidos (programas y promociones). Este tipo de organizaciones desarrollan actividades de producción, emisión y difusión de contenidos educativos, informativos, culturales y de entretenimiento; los cuales por el tipo de negocio requieren de una asignación de recursos operativos, respetando una serie de restricciones (límite máximo de horas o turnos, la existencia de interrupciones, la existencia de trabajadores temporales y de tiempo completo, las preferencias de trabajadores, entre otros).

Actualmente los canales de televisión realizan la programación de horarios y asignación de recursos de forma manual, ya sea por desconocimiento o debido a no querer utilizar nuevas tecnologías e infraestructura; convirtiendo el proceso de programación de recursos de operaciones, en un proceso complejo, por lo que el trabajo manual genera problemas de tiempo y costos. El proceso de programación de recursos de operaciones, tiene como objetivo programar los horarios de trabajo y asignar recursos operativos (operadores de equipos, cámaras, salas de estudio, islas de edición, etc.), para el proceso de producción de los programas, el cual consta de tres subprocesos: la pre producción, la producción y la post producción. Asimismo el proceso de programación de recursos de operaciones, se subdivide en dos subprocesos: programación de recursos de operaciones para la pre producción y programación de recursos de operaciones para la post producción.

En específico la presente investigación estudiará el proceso de programación de recursos de operaciones para la post producción, el cual realiza la programación de horarios de trabajo de los operadores de edición y asigna islas de edición para la post

producción de programas de televisión. Esta asignación es un problema de la investigación operativa denominado *Timetabling*, el cual consiste en la asignación de un conjunto de eventos a distintos bloques de horarios, utilizando una serie de recursos y cumpliendo con diversas condiciones.

La investigación tiene como objetivo optimizar la programación de horarios de trabajo de los operadores de edición y la asignación de islas de edición, para la post-producción de programas de televisión, minimizando los costos en los que se incurre; dicha optimización se realizará a través del modelo matemático de programación lineal entera, que presenta gran factibilidad en la solución de problemas de programación. Finalmente, utilizando diversas herramientas de la Investigación Operativa se realizará la evaluación y se obtendrá un diagnóstico del sistema, construyendo un modelo matemático que plantee la solución a sus problemas.

Es importante que las empresas pueda implementar herramientas similares a la que se presenta, aplicando la ciencia y la tecnología que está a la vanguardia, para optimizar sus procesos y realizarlos más eficientemente, y así poder generar mayores ingresos.

Por motivos de confidencialidad dentro de este trabajo se ha modificado el nombre tanto del canal de televisión, como de sus programas y recursos, para así mantener la integridad de la información utilizada.

En el primer capítulo se describe a grandes rasgos el problema que aborda la presente investigación, definiendo el objetivo general así como los objetivos específicos, de lo que se desea alcanzar, además se mencionan la justificación para el desarrollo del presente trabajo, así como las limitaciones que se presentaron durante la elaboración de la investigación. Posterior a ello en el segundo capítulo se presenta el contenido teórico del trabajo de investigación, el cual sirve de base para la comprensión y entendimiento de la investigación, además se presenta un breve resumen literario acerca de la bibliografía que se utilizó para el desarrollo de la investigación. En el tercer capítulo se detalla la metodología empleada para el desarrollo de la investigación, así como el modelo matemático formulado. En el cuarto capítulo se presentan los resultados de la aplicación del modelo matemático y la comparación de resultados con la situación actual. Finalmente en el quinto capítulo se presentan las conclusiones de la investigación.

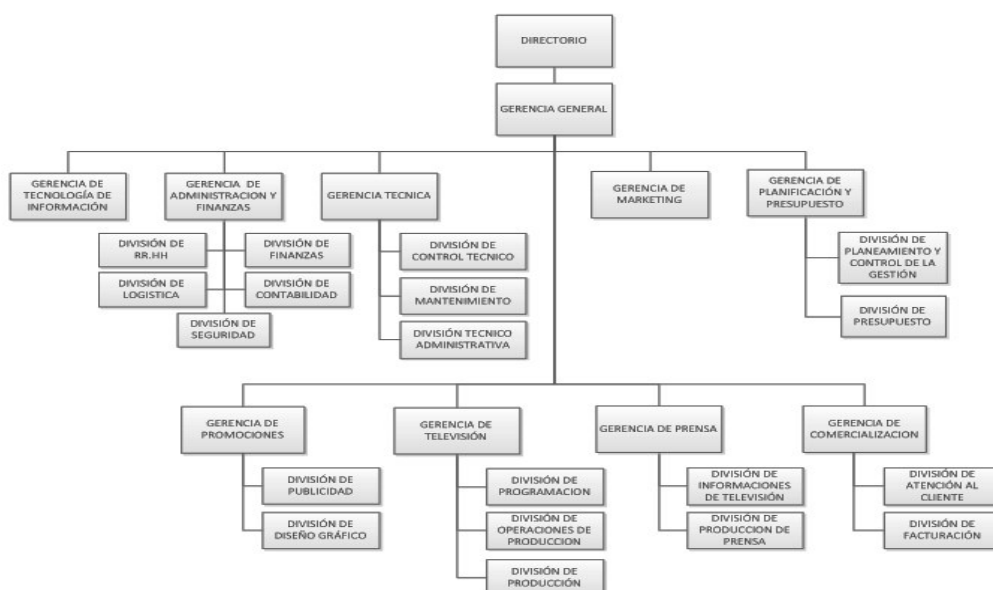
CAPÍTULO 1: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En ese capítulo se presenta la situación problemática en estudio, así como los objetivos, la justificación y las limitaciones de la investigación.

1.1. Situación Problemática

El canal de televisión en estudio tiene como misión: producir, emitir y difundir programas audiovisuales con contenidos de información periodística, educativa, cultural y de entretenimiento, a través de la distribución nacional de su señal de radiodifusión. Cuenta con una estructura orgánica funcional, desplegada hasta un 2º nivel, es decir ha sido estructurada en base a órganos y unidades orgánicas que agrupan funciones.

Gráfico 1: Estructura orgánica del Canal de televisión



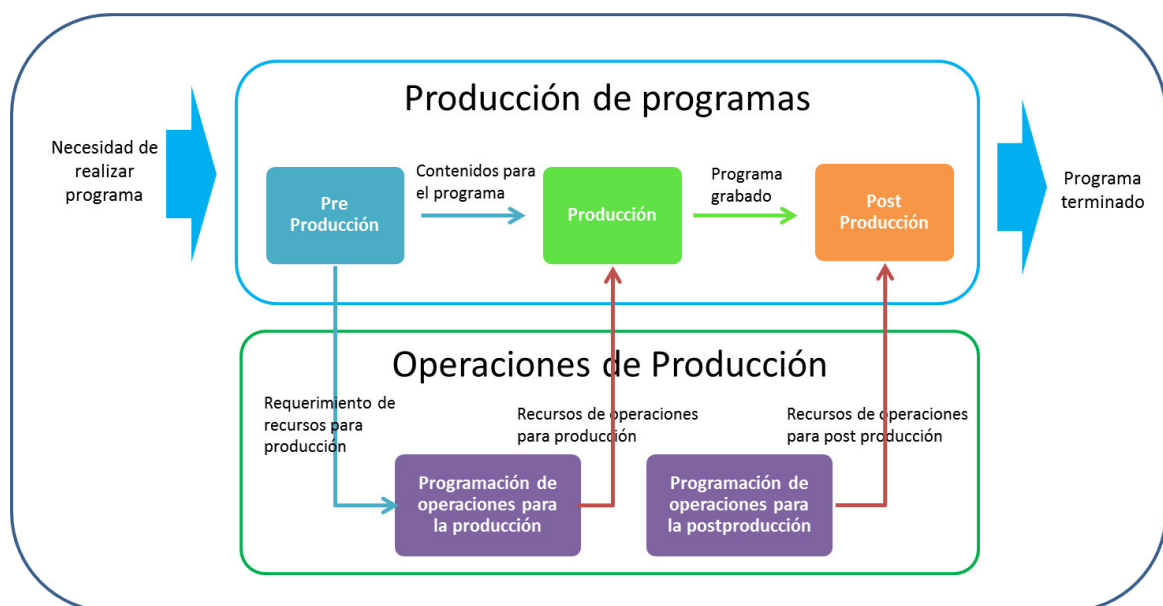
Fuente: Elaboración propia

Cabe precisar que la estructura orgánica actual, si bien facilita la especialización de cada unidad, a través del intercambio de conocimientos entre los responsables y sus colaboradores; genera burocracia y una cierta inflexibilidad para adaptarse al entorno actual, en donde los constantes cambios en el mercado apuntan a re estructurar y gestionar de forma más eficiente sus recursos con miras a generar mayores ingresos.

Ahora bien, la presente investigación analizará el problema de la programación de horarios y asignación de recursos operativos en la última etapa del proceso de producción de programas, a cargo de la Gerencia de Televisión.

El proceso de producción de programas está formado por 3 etapas o sub procesos consecutivos: pre producción, producción y post producción, e interactúa con el proceso de operaciones de producción, el cual tiene por objetivo programar los horarios de trabajo y asignar recursos operativos (operadores de equipos, cámaras, salas de estudio, islas de edición, etc.) para la producción de los programas, y está formado por dos etapas o subprocesos: programación de operaciones para la producción y programación de operaciones para la post producción.

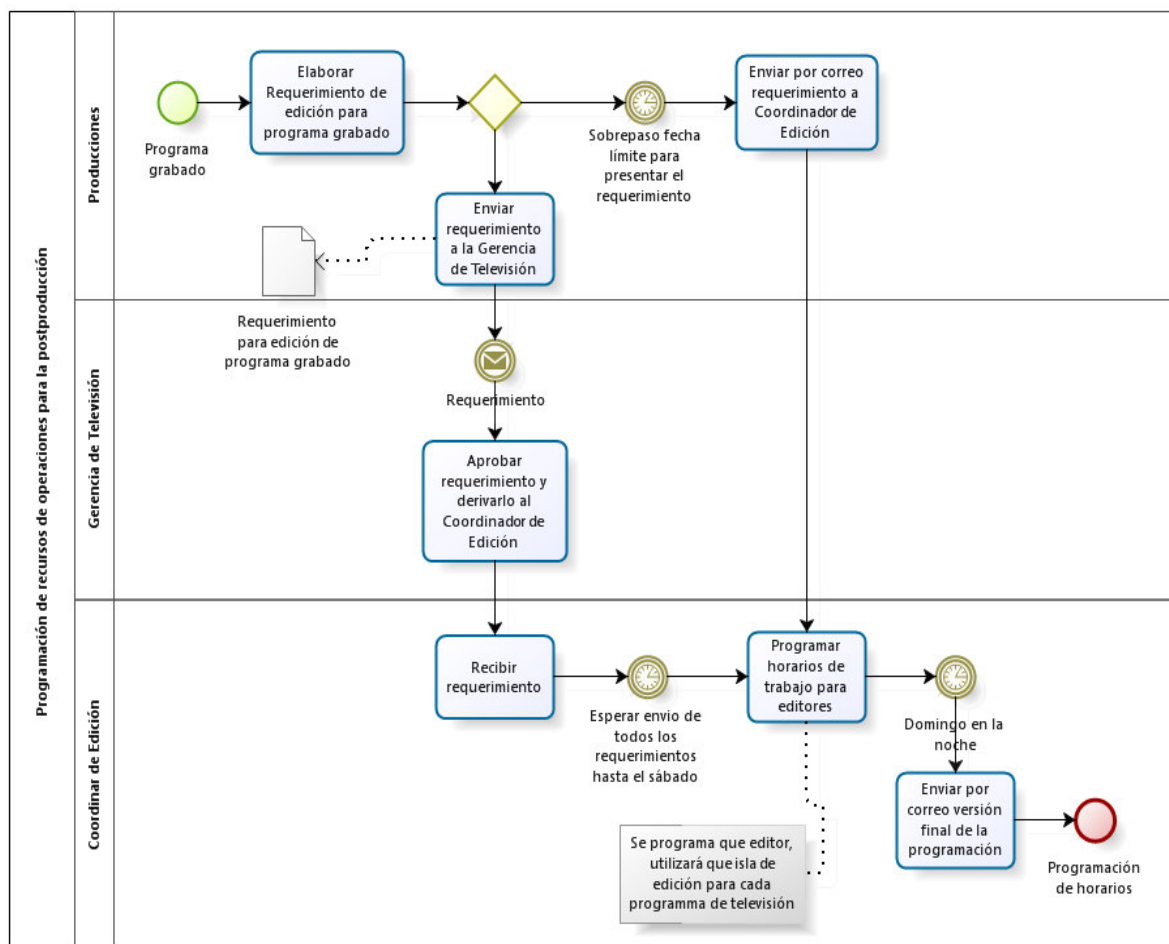
Gráfico 2: Interacción entre el proceso de Producción de programas y el proceso de Operaciones de producción



Fuente: Elaboración propia

A efectos de analizar con mayor detalle el problema de la programación de horarios y asignación de recursos operativos, se ha mapeado y descrito el sub proceso de programación de operaciones para la post producción, el cual se presenta a continuación:

Gráfico 3: Sub proceso de Programación de operaciones para la post producción



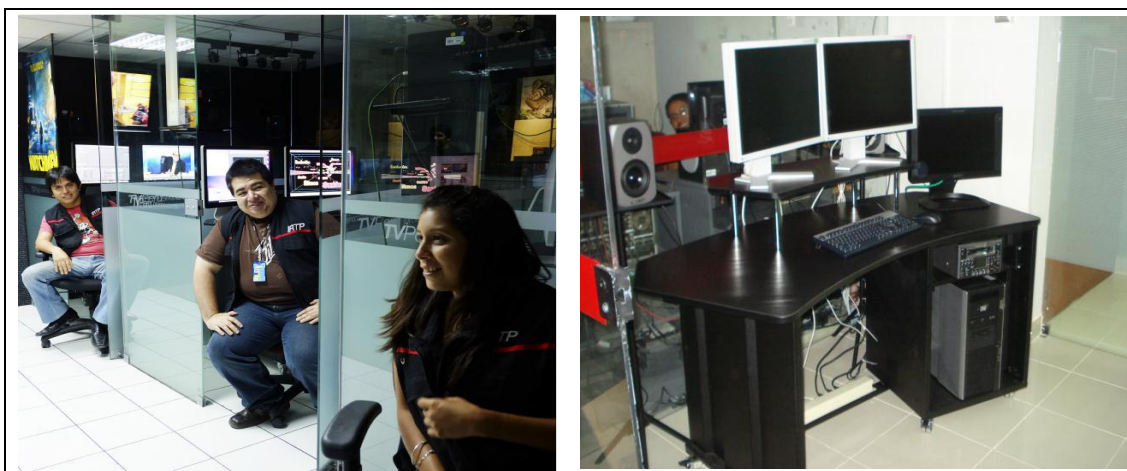
Fuente: Elaboración propia

El subproceso en estudio, tiene por objetivo programar los horarios de trabajo de 16 operadores de edición y asignar 08 equipos para la edición (o islas de edición) de los 21 programas, en horarios (o franjas horarias) que permitan el cumplimiento de la parrilla de programación del canal de televisión.

Actualmente, la programación de horarios y asignación de equipos es realizada de forma manual por el Coordinador de Edición, en base a las solicitudes de requerimientos de las producciones y tomando en consideración una gran cantidad de restricciones que traducen las condiciones de trabajo que deben cumplirse, lo cual no solo hace que sea bastante complejo la ejecución de estas actividades, sino que además, en ocasiones genera conflictos entre los productores y operadores de edición.

Esta situación es un problema de la investigación operativa denominado *Timetabling*, el cual consiste en la asignación de un conjunto de eventos a distintos bloques de horarios, utilizando una serie de recursos y cumpliendo con diversas condiciones.

Gráfico 4: Operadores de edición e islas de edición



Fuente: Archivo histórico de la Gerencia de Televisión

La complejidad presentada para programar los horarios y asignar las islas de edición, debido a la gran cantidad de variables y restricciones, más los problemas que se generan con las programaciones resultantes son, en conjunto, la motivación de buscar una herramienta analítica basada en la optimización para la solución de este problema, que permita sistematizar la programación de operaciones para la post producción de programas, reducir el tiempo utilizado por el Coordinador de Edición para realizar esta actividad y eliminar las ocasiones en las que se generaban conflictos entre editores y productores de programas, por una inadecuada programación de horarios.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

- ¿De qué manera será posible representar y resolver de forma óptima el problema de programación de horarios de trabajo y asignación de islas de edición para la post producción de programas de un Canal de televisión?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son los factores que afectan la eficiente programación de horarios de trabajo y asignación de islas de edición para la post producción de programas de un Canal de televisión?
- ¿La programación de horarios y la asignación de islas de edición propuesta, será más eficiente, que la asignación de recursos actual?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Determinar de qué manera será posible representar y resolver de forma óptima el problema de programación de horarios de trabajo y asignación de islas de edición para la post producción de programas de un Canal de televisión.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar los factores que afectan la eficiente programación de horarios de trabajo y asignación de islas de edición para la post producción de programas de un Canal de televisión.
- Determinar si la nueva programación de horarios y la asignación de islas de edición es más eficiente respecto al costo, que la programación real de una semana cualquiera.

1.4. Justificación de la investigación

El presente trabajo de investigación permitirá a la Alta Dirección del Canal de Televisión reducir los costos asociados a la programación de horarios y asignación de recursos al producir programas, así como aquellos asociados al incumplimiento de la parrilla de programación del canal.

Así también, permitirá a la Gerencia de Televisión producir los programas con mejor calidad, gestionar de forma óptima el problema de la programación de horarios y asignación de recursos en la etapa de post producción y reducir el tiempo que invierte el Coordinador de Edición, al sistematizar esta actividad.

Así también, permitirá a los Operadores de edición reducir sus niveles de estrés, pues eliminará las ocasiones en las que se generaban conflictos con otros operadores o con los productores de los programas, por una inadecuada programación de horarios.

Además, beneficiará al público televidente, pues les permitirá ver los programas televisión, de acuerdo a la parrilla de programación del canal, incrementando de este modo su nivel de satisfacción.

1.5. Limitaciones del estudio

- La principal limitación del estudio es la poca disponibilidad de tiempo para el desarrollo del presente trabajo de investigación, dado que se ve afectada por la carga laboral, así como también por estudios de especialización.
- Otra de las limitaciones es la información de la programación de horarios para el modelamiento del problema, ya que al inicio del trabajo de investigación se recolectó la información suficiente para el desarrollo y aplicación del modelo y comparación de resultados, sin embargo, a la fecha no se tiene acceso a la información actualizada del canal de televisión.
- Así también, se presenta la limitación de software debido a que el problema real cuenta con aproximadamente 3190 variables enteras binarias y el software utilizado para resolver el problema no tiene la capacidad para trabajar con esa cantidad de variables. Por tal motivo, el presente estudio se realizará a una escala recudida, utilizando 48 variables enteras binarias, sin embargo, la resolución del problema a esta escala, será análoga a la resolución del problema real.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

La presente investigación analizara la programación de horarios y asignación de recursos para el desarrollo de un conjunto de actividades. Dichos conceptos son estudiados por la Investigación Operativa y se conocen como el problema de timetabling, el cual consiste en asignar ciertos recursos a un número limitado de bloques horarios y lugares, sujeto a restricciones, con la intención de satisfacer un conjunto de objetivos en el mayor grado posible y minimizar el costo total de los recursos utilizados. En ese sentido, por la importancia que tienen los conceptos antes mencionados, en este marco teórico, se presenta los antecedentes relevantes de esta investigación, bibliografía asociada y una serie de conceptos que permiten entender mejor la investigación.

2.1. Antecedentes de investigación

Se pueden encontrar diversos estudios realizados por profesionales de diferentes áreas sobre la asignación de recursos utilizando diferentes herramientas de solución, con el objetivo de que la organización pueda ejecutar el proceso de producción de bienes y/o servicios de manera eficaz y eficiente.

Dichos estudios se pueden tomar como referencia, ya que los procesos de asignación de recursos para la producción de bienes y/o servicios de los estudios mencionados, se asemejan al proceso de asignación de recursos para la producción de programas de televisión.

2.1.1. Antecedentes Nacionales

PEREZ Becerra, José Armando (2006) quien desarrolló una Tesis para optar la licenciatura en Investigación Operativa, titulada: *“Modelo de asignación aplicado a la manufactura en una cadena de abastecimientos”*, cuyos hallazgos dan cuenta que la

aplicación de modelos de programación lineal entera binaria, para dar solución a los problemas de asignación de recursos, permite minimizar los tiempos y costos en los que incurre la organización al asignar recursos para la realización de una cadena de abastecimiento. Así mismo resalta la importancia de aplicar herramientas analíticas como la Investigación Operativa no solo a sectores de manufactura, sino además a sectores de servicios.

ARAUJO Cajamarca, Raul Eloy (2009) desarrollo una Tesis para optar la licenciatura en Investigación Operativa, titulada: *“Asignación de máquinas a órdenes de producción mediante programación lineal entera: caso: empresa textil”*, cuyos resultados obtenidos muestran que el uso de herramientas útiles y necesarias en las organizaciones, permiten optimizar la utilización de sus recursos y maximizar sus contribuciones, tal es el caso del modelo de programación lineal entera que garantiza una asignación óptima de recursos. Así mismo el trabajo de investigación resalta que la Investigación Operativa permite realizar un estudio de un complejo sistema real y representarlo en un modelo de Programación Lineal Entera con la finalidad de optimizar el funcionamiento del mismo.

2.1.2. Antecedentes Extranjeros

PALACIOS Aguinaga, Carlos Andrés (2006) quien desarrolló una Tesis para optar la licenciatura en Ingeniería Industrial, titulada: *“Riesgo Operacional y Asignación de Tareas de Control Mediante Programación Lineal en una Institución Financiera”*, cuyos hallazgos dan cuenta de la importancia de aplicar modelos de programación lineal, de manera que se minimicen los costos en los que incurre la organización al asignar recursos para la ejecución de procesos, permitiendo una adecuada funcionabilidad de los procesos que continúan al de asignación de recursos, según la Cadena de Valor de la institución.

TORRES Ovalle, Camilo (2013) desarrolló una Tesis para optar el grado de Maestría en Gestión de Operaciones, titulada: *“Programación de horarios y asignación de aulas de clases universitarias”*, cuyos resultados muestran mejoras significativas en la comparación realizada entre la programación real con la programación propuesta, para esto se incluyeron indicadores que permitieron medir el porcentaje de ocupación de salones y el uso de las franjas horarias, además, de calcular con la misma metodología del modelo matemático un valor de la solución real, lo cual permite afirmar que la solución encontrada por el modelo de programación lineal propuesto es mejor que la solución entregada por la persona responsable de la programación en la Universidad de La Sabana, ya que al ser este último un proceso manual que

deja a la subjetividad y a la experiencia empírica la posibilidad de entregar una programación que satisfaga todos los requerimientos de las Facultades de las características propias del problema, mientras que en el modelo matemático propuesto en esta investigación se involucran elementos propios de la Investigación de Operaciones que permiten generar y entregar una solución eficiente bajo la óptica de la optimización matemática y cumpliendo con los requisitos y políticas de La Sabana.

HERNANDEZ Campos, Rodrigo Alejandro (2008) desarrolló una Tesis para optar el grado de Maestría en Gestión de Operaciones, titulada: *“Programación de horarios de clases y asignación de salas en la facultad de ingeniería de la Universidad Diego Portales”*, cuyos resultados obtenidos resumen cómo una programación de horarios cumple con todos los requerimientos exigidos y cómo una asignación de salas cumple con los requisitos de capacidad de cada curso. Así mismo los hallazgos dan cuenta que las técnicas de programación lineal entera pueden ser utilizadas con éxito para resolver problemas de programación de horarios aplicados a las universidades, no siendo siempre necesario el uso de modelos heurísticos para obtener buenas soluciones en este tipo de problemas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Programación lineal

Según cita Barry Render, Ralph Stair y Michael Hanna.; en su libro de Métodos Cuantitativos para los Negocios de la undécima edición (pág. 250):

... *“La programación lineal (PL) es una técnica de modelado matemático ampliamente utilizada, que está diseñada para ayudar a los gerentes en la planeación y toma de decisiones respecto a la asignación de recursos. ...”*

Por otro lado, Frederick y Mark Hillier, en su libro de Métodos Cuantitativos para la Administración de la tercera edición nos citan (pág. 17):

“... En la programación lineal se utiliza un modelo matemático para representar el problema bajo estudio. La palabra lineal en el nombre se refiere a la forma de las expresiones matemáticas en este modelo. Y programación no se refiere a programación por computadora, aquí se le utiliza esencialmente como sinónimo de planeación. De esta manera, **programación lineal** significa la planeación de actividades que se representa por un modelo matemático lineal. ...”

La progresión lineal al ser una representación de un modelo matemático para la solución de un problema, presenta la siguiente estructura:

1. Variables de decisión, que indica la variable(s) a analizar.
2. Función objetivo, puede ser maximizar o minimizar
3. Restricciones, conjunto de limitaciones para el modelo, estas restricciones son expresiones matemáticas lineales.

2.2.2. Programación Lineal Entera

La forma general de un problema de programación entera se define como:

$$\text{Maximizar (o minimizar) } Z = \sum_{j \in N} c_j \cdot X_j$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} + S_i = b_i, \quad i \in M$$

$$S_i \geq 0, \quad i \in M$$

$$X_j \text{ entero}, \quad j \in I \supset N$$

Donde S_i es la variable de holgura. Si la restricción está escrita en la forma de una ecuación, entonces la variable de holgura no existe.

Si no existe la condición de que la variable debe ser entera, el problema es un problema de programación ordinaria lineal o no lineal. En otras palabras, los métodos de programación entera buscan determinar el punto óptimo a lo largo de todos los puntos discretos incluidos en el espacio de solución continuo factible.

Darí la impresión entonces que la condición adicional de que las variables sean enteras no representaría un gran problema ya que, el espacio de solución estaría mejor definido y no se necesitaría buscar a lo largo de un número infinito de puntos como en el caso de los problemas continuos (se asume por simplicidad que el espacio continuo está limitado).

Desafortunadamente, la conclusión explicada arriba no es cierta. Aunque el espacio de solución de los problemas enteros está estructuralmente mejor definida que en los problemas continuos, se ha probado que es computacionalmente más difícil.

El hecho es que la condición de que las variables sean enteras en ocasiones “destruye” las propiedades del espacio solución. Un ejemplo típico sería el problema lineal entero. Si no existiera la condición de variables enteras, el espacio de solución

sería convexo. Esto viene a ser inicialmente, la propiedad básica que dirige al éxito del método simplex para resolver problemas lineales.

Ya que se han logrado éxitos en la resolución de los programas continuos lineales y no lineales, todos los algoritmos enteros se han desarrollado mediante la conversión del espacio discreto en uno equivalente continuo.

Esto se logra al modificar el espacio de solución continuo de manera que el mejor punto entero requerido sea escogido. Aun cuando existen situaciones en las que parecería que el espacio continuo no se utiliza (problemas en los que todas las variables son binarias), se puede verificar que el método de solución puede ser enfocado hacia la versión continua.

2.2.3. Problema de Programación Lineal Binaria (PPLB)

Es un problema de programación lineal entera, donde todas sus variables de decisión toman solamente valores de 0 ó 1.

Su forma general es:

$$\text{Maximizar (o minimizar) } Z = \sum_{j \in N} c_j \cdot X_j$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \begin{pmatrix} \leq \\ = \\ \geq \end{pmatrix} b_i, \quad i \in M, \quad M = \{1, 2, \dots, n\}$$

$$X_j = 0 \text{ ó } 1 \quad j \in M$$

Una de las contribuciones de la PLB es la flexibilidad del modelado debido al uso de variables de tipo 0 ó 1.

- **Variables:** Representan las decisiones que se pueden tomar para afectar el valor de la función objetivo. Para nuestro caso de análisis las variables representarán las tareas que se asignarán a los trabajadores.
- **Función objetivo:** Es la medida cuantitativa del funcionamiento del sistema que se desea optimizar (maximizar o minimizar). Es decir, lo que se desea alcanzar con la solución del modelo; puede ser minimizar los costos de producción o incrementar las utilidades por producto, etc.

- **Restricciones:** Representan el conjunto de relaciones (expresadas mediante ecuaciones e inecuaciones) que ciertas variables están obligadas a satisfacer.

2.2.4. Timetabling

Jonathan L. Gross en su libro denominado “Manual de la teoría de grafos” describe *Timetabling* como un problema de Programación horaria o calendarización; en el que existen recursos que deben ser asignados, en instantes o bloques de tiempo determinados, teniendo en cuenta requisitos y condiciones.

Así mismo menciona que *Zhipeng Lu* y *Jin-Kao Hao*, describieron *Timetabling* como, el problema de asignar un número de eventos, cada uno con ciertas características, a un número limitado de recursos, sujeto a restricciones. Anterior a ellos *Anthony Wren* en 1996, describió el *Timetabling*, como un caso especial de Programación (*Scheduling*), definiéndola como la asignación, sujeta a restricciones, de un grupo de recursos a objetos ubicados en tiempo y espacio, de tal manera que se satisfagan un conjunto de objetivos deseados.

Ese particular problema se puede apreciar claramente en diferentes escenarios en el mundo, por lo que es objeto de estudio por parte de grupos de investigación, para optimizar los resultados y lograr soluciones automatizadas de alta calidad. En los diversos sectores donde se puede ver la problemática de la asignación de recursos y la calendarización se encuentran: los deportes, empresas, transporte aéreo, educación, entre otros. Algunos de los tipos más conocidos de *Timetabling*, se presentan a continuación:

- Transport Timetabling:*** Describe el problema de la asignación de rutas de los conductores de buses de transporte público o privado, trenes y/o aviones (conocido como *Airlines Schedule*); además con la programación y previsibilidad de horarios de salida y la optimización de operaciones de llegada principalmente en aeropuertos, donde los controladores de las pistas de aterrizaje de aeropuertos modernos, realizan sus actividades de manera manual y requieren de un alto grado de precisión en pocos instantes de tiempo.
- Sports Timetabling:*** (también conocido como *Sports scheduling*) es una variante del problema mencionado, el cual describe el problema de la asignación de recursos en los deportes, tal es el caso del fútbol, que cuenta con una característica como son los diferentes tipos de enfrentamientos

entre equipos, ya sea de uno contra uno, ida y vuelta, o torneos de todos contra todos; los cuales requieren un tipo de programación de encuentros distinta, otro problema en este tipo de Timetabling por ejemplo, es que en épocas de Navidad y Año nuevo se realizan encuentros muy seguidos, y los simpatizantes deben desplazarse por largas distancias, lo cual requiere otro tipo de optimización que beneficie al espectáculo, taquillas, transmisión por cable, etc.

c) **Employee Timetabling and Rostering:** Primordialmente esta modalidad trata de los turnos particularmente en el sector de la salud (también conocido como *Nurse Rostering*), puesto que, enfermeras y médicos deben cumplir diferentes turnos de trabajo, se deben equilibrar las cargas de trabajo, teniendo en cuenta restricciones duras y blandas, tales como, exigencia mínima de enfermeras, días de descanso, etc. También algunas empresas, imparten horarios de trabajo a sus empleados, por lo tanto, en turnos y/o horarios, se deben tener en cuenta distintas restricciones, encontramos algunas como: límite máximo de horas o turnos, existencia de interrupciones, existencia de trabajadores temporales y de tiempo completo, periodos de planificación, disponibilidad y preferencias del trabajador, entre otras.

d) **Educational Timetabling:** En el ámbito educativo, los principales problemas son los de programación de horarios tanto en colegios (*School Timetabling*) como en universidades (*University or Course Timetabling*), este tipo de programación de materias requiere de una eficiente asignación de recursos respetando instantes de tiempo establecidos, esto implica una serie de restricciones y preferencias derivadas de personas, instituciones, reglamentos u otras. Este tipo de programación tiene una gran complejidad, por la cantidad de variables y limitaciones, de tal manera que existe un espacio para la investigación y el desarrollo.

Otro campo subsecuente de la educación tiene que ver con la carga de exámenes y su calendarización (*Exam o Examination Timetabling*).

Generalmente, para problemas en la educación, se manejan dos tipos de restricciones:

- **Restricciones Duras (Obligatorias):** son condiciones de obligatorio cumplimiento, de tal manera que la violación de alguna origina un horario no valido. Son espaciales (por ejemplo: la cantidad de

estudiantes no debe superar la capacidad de un aula) o temporales (por ejemplo: un docente no debe tener asignado dos o más cursos en un mismo bloque de tiempo), de esta manera se dice que toda restricción dura se debe satisfacer.

- **Restricciones Blandas (Deseadas):** son restricciones que denotan preferencias del usuario, se busca que se cumplan en la medida de lo posible (por ejemplo: no se desea que un profesor se traslade a diferentes aulas cuando se tiene una clase de dos periodos consecutivos). La violación de alguna de estas restricciones, seguirá ocasionando un horario factible, pero no con la calidad deseada.

2.3. Bases conceptuales

- **EFICACIA:**

Es la capacidad empresarial para responder apropiada y rápidamente a situaciones dadas en determinado momento y cumplir con sus objetivos.

- **EFICIENCIA:**

Utilización óptima de los recursos, humanos y materiales, para alcanzar el mayor grado de eficacia en el mismo tiempo y al mismo costo.

- **FUNCIÓN OBJETIVO:**

Es la función que deseamos optimizar, es decir, maximizar o minimizar.

- **MÉTODO SIMPLEX:**

Método secuencial de optimización, que puede ser empleado tanto para maximizar como para minimizar una respuesta.

- **MODELO MATEMÁTICO:**

Representación de un sistema, mediante el uso de representaciones matemáticas.

- **OPTIMIZACIÓN:**

La optimización es la búsqueda y el hecho de mejorar el rendimiento de un sistema.

- **PARRILLA DE PROGRAMACIÓN**

Indica la hora de comienzo y fin de cada programa de un canal de televisión, que se emitirá a lo largo del día.

- **PROCESO:**

Secuencia de actividades que transforman una o más entradas, generando un resultado.

- **PRE PRODUCCIÓN**

Es el proceso de planeación de la producción de programas, en el que nace la idea, la cual se verá plasmada en el guion del programa, en esta etapa se reúnen los recursos necesarios (de personal, de equipamiento, económico) para la realización de un programa, así como se conciben las ideas, que permitan definir el contenido del programa.

- **PRODUCCIÓN**

Es el proceso de puesta en práctica de todas las ideas pensadas en la pre producción. Se utilizan los recursos asignados, grabando o transmitiendo en vivo el programa planificado.

- **POST PRODUCCIÓN**

Es el proceso de selección del material grabado, así como de la edición del mismo.

- **RESTRICCIONES**

Limitación o reducción impuesta en el suministro de productos de consumo, generalmente por escasez de estos.

- **SISTEMA**

Es el conjunto de elementos interrelacionados entre sí.

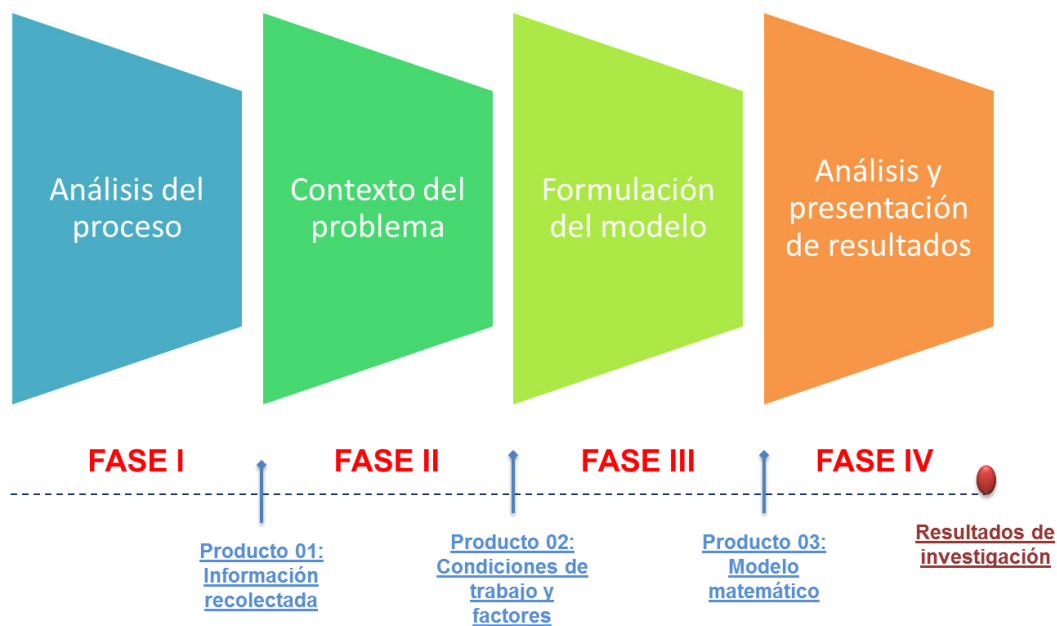
- **SOLUCIÓN ÓPTIMA**

De un conjunto de soluciones es la mejor alternativa de solución para un problema determinado.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

En el presente capítulo se presenta la metodología empleada para el desarrollo del trabajo de investigación, consta de las siguientes fases:

Gráfico 5: Fases del estudio



Fuente: Elaboración propia

3.1. Análisis del proceso

En esta fase se realizaron entrevistas y validaciones con el personal de la Gerencia de Televisión, y en base a ello se mapearon y describieron los procesos que interactúan en la programación de horarios para la post producción de programas, a fin de conocer el contexto del problema (las condiciones de trabajo o factores que afectan la programación de horarios).

3.2. Contexto del problema

En base a la información recolectada en la fase anterior, se determina el contexto del problema, identificando las condiciones de trabajo o factores que afectan a la programación de horarios.

A continuación se detallan las condiciones de trabajo o factores identificados:

- No puede existir más de una programación en una misma franja horaria para un mismo programa en una misma isla de edición.
- La programación se debe realizar completa, es decir que todos los programas con su respectiva intensidad horaria deben tener asignada una isla de edición en una franja horaria determinada.
- El mismo operador de edición no puede tener programado editar dos o más programas en la misma franja horaria.
- Es necesario respetar la disponibilidad horaria de cada operador de edición.
- No puede cambiar de isla de edición los programas de televisión que se editan en dos o más franjas horarias seguidas en el mismo día.

Así también, se conoce la siguiente información utilizada en la programación de horarios:

- La disponibilidad horaria de cada operador de edición.
- La intensidad horaria que debe tener cada programa de televisión para ser editado.
- Cuáles operadores de edición pueden editar los programas de televisión.
- Los horarios en los que pueden ser editados los programas de televisión, de modo tal que se pueda cumplir con la parrilla de programación del canal de televisión.
- Las franjas horarias en las cuales se pueden programar las ediciones, equivalen a franjas de 4 horas desde las 8:00 am hasta las 12:00 pm, desde las 12:00 pm hasta las 4:00 pm y desde las 4:00 pm hasta las 8:00 pm.
- La programación de horarios actual para la post producción de los programas de televisión:

Tabla 1: Programación de horarios actual para la post producción de programas de televisión

ISLA	HRS	LUNES	MARTES
1	08:00 A 12:00 HRS	OPERADOR DE EDICIÓN 1 PROGRAMA DE TV 2	OPERADOR DE EDICIÓN 1 PROGRAMA DE TV 2
	12:00 A 16:00 HRS	OPERADOR DE EDICIÓN 3 PROGRAMA DE TV 1	OPERADOR DE EDICIÓN 1 PROGRAMA DE TV 2
	16:00 A 20:00 HRS	OPERADOR DE EDICIÓN 3 PROGRAMA DE TV 1	OPERADOR DE EDICIÓN 3 PROGRAMA DE TV 1
2	08:00 A 12:00 HRS	OPERADOR DE EDICIÓN 2 PROGRAMA DE TV 3	OPERADOR DE EDICIÓN 2 PROGRAMA DE TV 3
	12:00 A 16:00 HRS	OPERADOR DE EDICIÓN 1 PROGRAMA DE TV 4	OPERADOR DE EDICIÓN 3 PROGRAMA DE TV 3
	16:00 A 20:00 HRS	OPERADOR DE EDICIÓN 2 PROGRAMA DE TV 4	OPERADOR DE EDICIÓN 2 PROGRAMA DE TV 4

Fuente: Elaboración propia

Tal como se señaló en las limitaciones de la investigación, el problema de la programación de horarios se resolverá en una escala reducida, motivo por el cual el modelo a formular resolverá el problema de la programación de horarios de 03 operadores de edición, asignando 02 islas de edición para la post producción de 04 programas de televisión en 06 franjas horarias.

En esta fase también se realizó el análisis tanto del sub proceso de programación de operaciones para la post producción, como de sus condiciones de trabajo aplicables, y en base a ello se determinaron los parámetros utilizados en la formulación del modelo matemático.

3.3. Formulación del modelo

Para el desarrollo de esta fase, se han tomado en consideración los modelos matemáticos, planteados en otras investigaciones para resolver el problema clásico de la programación de horarios, así como la información y los conocimientos adquiridos en la fase anterior, de modo tal que se logre formular un modelo que no solo satisfaga las restricciones propias del problema clásico, sino que además, respete las condiciones de trabajo del canal de televisión en la programación de horarios de editores y asignación de islas de edición para la post producción de programas. Así también, con el objetivo de reducir el nivel de complejidad del problema, se han utilizado parámetros que han permitido reducir el número de variables de decisión.

En ese sentido, a continuación se presenta el modelo formulado de programación lineal entera:

3.3.1. Conjuntos

I = franjas horarias {Franja horaria 1, Franja horaria 2, Franja horaria 3}

J = Programas de Tv {Programa de Tv 1, Programa de Tv 2, Programa de Tv 3, Programa de Tv 4}

L = Islas disponibles {Isla de edición 1, Isla de edición 2}

K = Operadores de edición disponibles {Operador de edición 1, Operador de edición 2, Operador de edición 3}

3.3.2. Parámetros

$INTH_{(J)}$ = Número de franjas horarias que debe tener el programa de televisión “J”

$PE_{(J, K)}$ = Matriz de 1 y 0; 1 si el programa de televisión “J” puede ser editado o post producido por el operador de edición “K”, 0 en otro caso.

$FP_{(I, J)}$ = Matriz de 1 y 0; 1 si en la franja horaria “I” se puede editar o post producir el programa de televisión “J”, 0 en otro caso.

$FE_{(I, K)}$ = Matriz de 1 y 0; 1 si en la franja horaria “I” puede ser editado o post producido por el operador de edición “K”, 0 en otro caso.

$CFP_{(I, J, L)}$ = Matriz con la ponderación de costos de las franjas horarias.

$PI_{(J, L)}$ = Matriz de 1 y 0; 1 si el programa de televisión “J” puede ser editado o post producido en la isla de edición “L”, 0 en otro caso.

Este último parámetro será utilizado en la segunda fase del modelo, de la siguiente manera:

- Se obtiene la primera solución con el modelo base.
- Se identifican los programas de televisión que se programan en dos o más franjas horarias seguidas en el mismo día y que cambian de isla de edición.
- En la matriz $PI_{(J, L)}$ se habilita solamente los programas de televisión a la isla de edición donde más se repite algún programa.
- Para los programas de televisión que no son programados presentan esta incidencia se habilitan las opciones para que sea programado en cualquier isla de edición disponible.

- Se obtiene la solución completa en la segunda fase, garantizando el cumplimiento de todas las restricciones y para las que se programan en dos o más franjas horarias seguidas en el mismo día, éstas ya no cambian de isla de edición.

3.3.3. Variables de Decisión

$X_{I,J,L}=1$ si en la franja horaria “I”, se realizará la post producción o edición del programa de televisión “J” en la isla de edición “L”; 0 si en la franja horaria “I”, NO se realizará la post producción o edición del programa de televisión “J” en la isla de edición “L”.

3.3.4. Función Objetivo

$$MIN Z = \sum_{I \in CFP} \sum_{J \in CFP} \sum_L CFP_{(I,J,L)} * X_{IJL} \quad (1)$$

La ecuación (1) expresa la función objetivo, ésta busca minimizar la suma de todas las posibles asignaciones, multiplicada por la matriz de costos de las franjas horarias, esta matriz representa el costo que tiene cada franja horaria en cada programa de televisión en cada isla de edición.

3.3.5. Restricciones

A continuación se relacionan las diferentes restricciones identificadas en el proceso de investigación y que se tuvieron en cuenta en la construcción del modelo.

En la ecuación (2) se tiene en cuenta que cada isla de edición en una franja horaria sólo se puede asignar máximo una vez, de esta manera se garantiza que no se programen dos programas de tv al mismo tiempo en la misma isla de edición.

$$\sum_J X_{IJL} \leq 1; \forall I, \forall L \quad (2)$$

La ecuación (3) garantiza que un programa de televisión sólo se pueda programar máximo una vez en una franja horaria, de esta manera el mismo programa de tv no se programará dos veces en la misma franja horaria.

$$\sum_{L \in PI} X_{IJL} \leq 1; \forall I \in FP, \forall J \quad (3)$$

Todo programa de televisión debe ser programado según su intensidad horaria semanal, esto se cumple con la ecuación (4).

$$\sum_{I \in FP} \sum_{L \in PI} X_{IJL} = INT_{H(J)}; \forall J \quad (4)$$

Con el fin de que los programas de televisión que sean trabajados por el mismo operador de edición, no se programen en la misma franja horaria, se ha establecido la ecuación (5), con la cual se da cumplimiento a esto, evitando que el mismo operador tenga asignados dos eventos a la misma hora.

$$\sum_{J \in PE} \sum_{L \in PI} X_{IJL} \leq 2; \forall K \in FE, \forall I \quad (5)$$

Con el fin de asegurar que las variables de decisión sean enteras binarias, se ha establecido la ecuación (6).

$$X_{IJL} = 0 \text{ o } 1 \quad (6)$$

3.4. Análisis y presentación de resultados

En esta fase se resolvió el problema de la programación de horarios, a través de la aplicación del modelo matemático en dos etapas.

En la primera etapa se planteó que todos los valores de la matriz $PI_{(J, L)}$ utilizada en el modelo, fuesen 1, de modo tal que los programas de televisión puedan ser editados o post producidos en cualquier isla de edición. En base a ello, al resolver el modelo se logró identificar qué programas de televisión que requerían ser editados en bloques (programados en dos o más franjas horarias seguidas en el mismo día), no eran editados en la misma isla de edición, lo cual podría haber generado pérdida de tiempo por desplazamientos innecesarios de editores de una isla de edición a otra.

En base a los resultados obtenidos en la etapa anterior, en la segunda etapa se planteó que en la matriz $PI_{(J, L)}$ se habilitara solamente los programas de televisión a la isla de edición donde más se repite algún programa, garantizando con esto no solo el cumplimiento de todas las restricciones iniciales del modelo, sino además que los programas de televisión que se programan en bloques ya no cambien de isla de edición.

La aplicación del modelo en las dos etapas se realizó a través del programa LINDO versión 6.1, el cual está diseñado para modelar problemas de programación lineal y programación lineal entera. Para resolver el caso bajo estudio, se utilizó un computador personal con Procesador Intel R CoreTM i3 con memoria RAM de 8 GB.

Finalmente, se analizan e interpretan los resultados obtenidos en la segunda etapa y se presentan las conclusiones de la investigación.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan y discuten los resultados de la aplicación del modelo matemático, comparando los resultados obtenidos con respecto a la situación real.

4.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados

En esta sección se presentan los resultados del modelo de programación de horarios desarrollado en dos etapas, mediante el uso del software LINDO.

Los parámetros utilizados para la resolución del modelo fueron los siguientes:

- Número de franjas horarias (I): 6.
- Número de programas de televisión (J): 4.
- Número de islas de edición (L): 2.
- Número de variables de decisión: 48
- Número de franjas horarias que debe tener cada programa de televisión:

Tabla 2: Vector $INTH_{(j)}$ de intensidad horaria de programas de tv

Programa de Tv	N° de franjas horarias requeridas para edición
J=1	3
J=2	3
J=3	3
J=4	3
TOTAL	12

Fuente: Elaboración propia

- Matriz de programas de tv que pueden ser editados por operadores de edición:

Tabla 3: Matriz $PE_{(J, K)}$ de programas de tv que pueden ser editados por operadores de edición

		Editores Disponibles		
		K=1	K=2	K=3
Programas de Tv	J=1	1	0	1
	J=2	1	1	0
	J=3	0	1	1
	J=4	1	1	0

Fuente: Elaboración propia

- Matriz de franjas horarias disponibles para la edición de programas de tv:

Tabla 4: Matriz $FP_{(I, J)}$ de franjas horarias disponibles para la edición de programas de tv

		Programas de Tv			
		J=1	J=2	J=3	J=4
Franjas horarias	I=1	1	1	1	1
	I=2	1	1	1	1
	I=3	1	0	0	1
	I=4	1	1	1	1
	I=5	1	1	1	1
	I=6	1	0	0	1

Fuente: Elaboración propia

- Matriz de franjas horarias disponibles para ser editadas por los operadores de edición:

Tabla 5: Matriz $FE_{(I, K)}$ de franjas horarias disponibles para la edición de programas de tv

		Editores Disponibles		
		K=1	K=2	K=3
Franjas horarias	I=1	1	1	0
	I=2	1	0	1
	I=3	0	1	1
	I=4	1	1	0
	I=5	1	0	1
	I=6	0	1	1

Fuente: Elaboración propia

- Matriz de programas de tv que pueden ser editados en las islas de edición:

Tabla 6: Matriz $PI_{(J, L)}$ de programas de tv que pueden ser editados en las islas de edición

		Islas de edición	
		L=1	L=2
Programas de Tv	J=1	1	1
	J=2	1	1
	J=3	1	1
	J=4	1	1

Fuente: Elaboración propia

- **CFP** _(I, J, L) = Matriz con la ponderación de costos de las franjas horarias.

Tabla 7: Matriz CFP _(I, J, L) de costos (en soles)

Franja Horaria	Programa de Tv	Isla de Edición	Costo por asignación
1	1	1	59
1	1	2	68
1	2	1	60
1	2	2	71
1	3	1	40
1	3	2	80
1	4	1	51
1	4	2	36
2	1	1	1
2	1	2	20
2	2	1	31
2	2	2	22
2	3	1	53
2	3	2	30
2	4	1	2
2	4	2	14
3	1	1	21
3	1	2	10
3	2	1	1
3	2	2	26
3	3	1	7
3	3	2	41
3	4	1	7
3	4	2	19
4	1	1	59
4	1	2	68
4	2	1	60
4	2	2	71
4	3	1	40
4	3	2	80
4	4	1	51
4	4	2	36
5	1	1	1
5	1	2	20
5	2	1	31
5	2	2	22
5	3	1	53
5	3	2	30
5	4	1	2
5	4	2	14
6	1	1	21
6	1	2	10
6	2	1	1
6	2	2	26
6	3	1	7
6	3	2	41
6	4	1	7
6	4	2	19

Fuente: Elaboración propia

4.1.1. Primera etapa

Para la resolución del modelo en esta etapa se consideró que los valores de la matriz $PI_{(J,L)}$, parámetro involucrado en las restricciones del modelo, fuesen 1, de modo tal que los programas de televisión puedan ser programados para su edición o post producción en cualquier isla de edición. En tal sentido, a continuación se muestra en la Tabla 8 la solución óptima para el modelo en su primera etapa.

Tabla 8: Solución de la programación de horarios en la primera etapa

ISLA	HRS	LUNES	MARTES
1	08:00 A 12:00 HRS	OPERADOR DE EDICIÓN 2 PROGRAMA DE TV 3	OPERADOR DE EDICIÓN 2 PROGRAMA DE TV 3
	12:00 A 16:00 HRS	OPERADOR DE EDICIÓN 1 PROGRAMA DE TV 2	OPERADOR DE EDICIÓN 3 PROGRAMA DE TV 1
	16:00 A 20:00 HRS	OPERADOR DE EDICIÓN 2 PROGRAMA DE TV 4	OPERADOR DE EDICIÓN 2 PROGRAMA DE TV 4
2	08:00 A 12:00 HRS	OPERADOR DE EDICIÓN 1 PROGRAMA DE TV 4	OPERADOR DE EDICIÓN 1 PROGRAMA DE TV 2
	12:00 A 16:00 HRS	OPERADOR DE EDICIÓN 3 PROGRAMA DE TV 3	OPERADOR DE EDICIÓN 1 PROGRAMA DE TV 2
	16:00 A 20:00 HRS	OPERADOR DE EDICIÓN 3 PROGRAMA DE TV 1	OPERADOR DE EDICIÓN 3 PROGRAMA DE TV 1

Fuente: Elaboración propia

La solución mostrada cumple con el conjunto de restricciones del modelo matemático, sin embargo existen programas de televisión programados en dos o más franjas horarias seguidas en el mismo día, que cambian de isla de edición, por ejemplo el programa de tv 3 que es programada en las franjas 1 y 2 del día lunes y que cambia de isla de edición, pasando de la isla 1 a 2, otro ejemplo es el programa de tv 1 que es programado en las franjas 5 y 6 del día martes y que cambia de la isla 1 a 2, por lo que es necesario realizar la segunda etapa, para garantizar que estos programas no cambien de isla de edición.

4.1.2. Segunda etapa

En esta etapa se logra que los programas de televisión 1 y 3 no cambien de isla de edición, de esta manera se consigue una programación en un solo espacio físico, sin

que los operadores de edición pierdan tiempo trasladándose de una isla a otra para editar o post producir un mismo programa de tv .

Para esto, se modifican los valores de la matriz $PI_{(j, L)}$, asignándole el valor 0 a $PI_{(1, 1)}$ y $PI_{(3, 2)}$, y 1, a los demás valores de la matriz y se resuelve el modelo en la segunda etapa.

En tal sentido, a continuación se muestra en la Tabla 9 la solución óptima para el modelo en su segunda etapa.

Tabla 9: Solución de la programación de horarios en la segunda etapa

ISLA	HRS	LUNES	MARTES
1	08:00 A 12:00 HRS	OPERADOR DE EDICIÓN 2 PROGRAMA DE TV 3	OPERADOR DE EDICIÓN 2 PROGRAMA DE TV 3
	12:00 A 16:00 HRS	OPERADOR DE EDICIÓN 1 PROGRAMA DE TV 2	OPERADOR DE EDICIÓN 3 PROGRAMA DE TV 3
	16:00 A 20:00 HRS	OPERADOR DE EDICIÓN 2 PROGRAMA DE TV 4	OPERADOR DE EDICIÓN 2 PROGRAMA DE TV 4
2	08:00 A 12:00 HRS	OPERADOR DE EDICIÓN 1 PROGRAMA DE TV 4	OPERADOR DE EDICIÓN 1 PROGRAMA DE TV 2
	12:00 A 16:00 HRS	OPERADOR DE EDICIÓN 3 PROGRAMA DE TV 1	OPERADOR DE EDICIÓN 1 PROGRAMA DE TV 2
	16:00 A 20:00 HRS	OPERADOR DE EDICIÓN 3 PROGRAMA DE TV 1	OPERADOR DE EDICIÓN 3 PROGRAMA DE TV 1

Fuente: Elaboración propia

Tal como se observa, la solución presentada optimiza el problema de programación de horarios de trabajo y asignación de islas de edición para la post producción de programas del canal de televisión, programando en bloques o en franjas continuas en el mismo día, a los programas 1, 2 y 3, logrando además que los operadores de edición no pierdan tiempo trasladándose de una isla a otra para editar o post producir los mismos programas.

4.2. Presentación de resultados

Finalmente, se realiza una comparación entre los costos de la programación de horario actual planteado y de la solución de los modelos en la primera y segunda etapa. En tal sentido, a continuación se muestra en la Tabla 10 el cuadro comparativo.

Tabla 10: Cuadro comparativo de los costos de la programación de horarios actual y propuesta

Programación de horarios	Costo
Actual	S/. 436
Resultado del modelo en la primera etapa	S/. 305
Resultado del modelo en la segunda etapa	S/. 347

Fuente: Elaboración propia

Tal como se muestra, el costo de la programación de horarios actual es de S/. 436 (para hallar este valor se utilizaron los costos de la *Matriz CFP* (i, j, L) , en la programación de horarios actual planteada), mientras que el costo de la programación de horarios propuesta (resultado del modelo en la segunda etapa) es de S/. 347, lo cual indica que la solución a la programación de horarios de trabajo y asignación de islas de edición para la post producción de programas, es más eficiente que la programación actual planteada en la presente investigación, logrando de este modo un beneficio para el Canal de Televisión.

CONCLUSIONES

- Tal como se presenta en los incisos 3.3 Formulación del modelo y 4.1 Análisis, interpretación y discusión de resultados, el problema de la programación de horarios de trabajo y asignación de islas de edición para la post producción de programas se puede sistematizar, representar y resolver de forma óptima a través de la aplicación de la programación lineal entera, sustentando sus resultados técnica y científicamente.
- Los factores que afectan la eficiente programación de horarios de trabajo y asignación de islas de edición para la post producción de programas son aquellos relacionados a la disponibilidad de recursos operativos y de los horarios de trabajo del personal, así como aquellos que representan la relación entre las franjas horarias, los programas de tv, las islas de edición y los operadores de edición, identificados y descritos en los incisos 3.2 Contexto del problema y 3.3 Formulación del modelo.
- Tal como se presenta en la Tabla 10 "Cuadro comparativo de los costos de la programación de horarios actual y propuesta", la nueva programación de horarios y asignación de islas de edición es más eficiente respecto al costo, que la programación actual planteada en la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO Cajamarca, Raul Eloy (2009). Asignación de máquina a órdenes de producción mediante programación lineal entera: caso: empresa textil. Tesis (Licenciado en Investigación Operativa). Lima, Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas.
- BURKE E.y ROSS P. 1995, The Practice and Theory of Automated Timetabling. En: 1era CONFERENCIA INTERNACIONAL: práctica y teoría en la Automatización de Timetabling (PATAT): agosto y setiembre de 1995. New York. Pp 46-75.
- GROSS, Jonathan L. y Yellen Jay. Manual para la Teoría de Grafos. 1ª ed. New York, CRC PRESS. Pp 445-540
- HERNANDEZ Campos, Rodrigo Alejandro (2008). Programación de horarios de clases y asignación de salas en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Diego Portales. Tesis (Magíster en Gestión de Operaciones). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- LOMBA, Philip R. Linear Programing: An introductory Analysis, McGraw-Hill, 1984. 158p.
- PALACIOS Aguinaga, Carlos Andrés (2006). Riesgo Operacional y Asignación de Tareas de Control Mediante Programación Lineal en una Institución Financiera. Tesis (Licenciado en Ingeniería Industrial). Quito, Ecuador. Universidad San Francisco de Quito, Facultad de Ingeniería Industrial.
- PEREZ Becerra, José Armando (2006). Modelo de asignación aplicado a la manufactura en una cadena de abastecimientos. Tesis (Licenciado en Investigación Operativa). Lima, Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas.
- TORRES Ovalle, Camilo (2013). Programación de horarios y asignación de aulas de clases universitarias. Tesis (Magíster en Gestión de Operaciones). Chía, Colombia. Universidad de La Sabana, Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas.

ANEXOS

Anexo 01: Modelo matemático en la primera etapa

!FUNCIÓN OBJETIVO

Min

$$\begin{aligned} &59X_{111}+68X_{112}+60X_{121}+71X_{122}+40X_{131}+80X_{132}+51X_{141}+36X_{142}+ \\ &59X_{411}+68X_{412}+60X_{421}+71X_{422}+40X_{431}+80X_{432}+51X_{441}+36X_{442}+ \\ &X_{211}+20X_{212}+31X_{221}+22X_{222}+53X_{231}+30X_{232}+2X_{241}+14X_{242}+ \\ &X_{511}+20X_{512}+31X_{521}+22X_{522}+53X_{531}+30X_{532}+2X_{541}+14X_{542}+ \\ &21X_{311}+10X_{312}+X_{321}+26X_{322}+7X_{331}+41X_{332}+7X_{341}+19X_{342}+ \\ &21X_{611}+10X_{612}+X_{621}+26X_{622}+7X_{631}+41X_{632}+7X_{641}+19X_{642} \end{aligned}$$

ST

!1ERA RESTRICCIÓN

$$X_{111}+X_{121}+X_{131}+X_{141} \leq 1$$

$$X_{112}+X_{122}+X_{132}+X_{142} \leq 1$$

$$X_{211}+X_{221}+X_{231}+X_{241} \leq 1$$

$$X_{212}+X_{222}+X_{232}+X_{242} \leq 1$$

$$X_{311}+X_{321}+X_{331}+X_{341} \leq 1$$

$$X_{312}+X_{322}+X_{332}+X_{342} \leq 1$$

$$X_{411}+X_{421}+X_{431}+X_{441} \leq 1$$

$$X_{412}+X_{422}+X_{432}+X_{442} \leq 1$$

$$X_{511}+X_{521}+X_{531}+X_{541} \leq 1$$

$$X_{512}+X_{522}+X_{532}+X_{542} \leq 1$$

$$X_{611}+X_{621}+X_{631}+X_{641} \leq 1$$

$$X_{612}+X_{622}+X_{632}+X_{642} \leq 1$$

!2DA RESTRICCIÓN

$$X_{111}+X_{112} \leq 1$$

$$X_{121}+X_{122} \leq 1$$

$$X_{131}+X_{132}\leq 1$$

$$X_{141}+X_{142}\leq 1$$

$$X_{211}+X_{212}\leq 1$$

$$X_{221}+X_{222}\leq 1$$

$$X_{231}+X_{232}\leq 1$$

$$X_{241}+X_{242}\leq 1$$

$$X_{311}+X_{312}\leq 1$$

$$!X_{321}+X_{322}\leq 1$$

$$!X_{331}+X_{332}\leq 1$$

$$X_{341}+X_{342}\leq 1$$

$$X_{411}+X_{412}\leq 1$$

$$X_{421}+X_{422}\leq 1$$

$$X_{431}+X_{432}\leq 1$$

$$X_{441}+X_{442}\leq 1$$

$$X_{511}+X_{512}\leq 1$$

$$X_{521}+X_{522}\leq 1$$

$$X_{531}+X_{532}\leq 1$$

$$X_{541}+X_{542}\leq 1$$

$$X_{611}+X_{612}\leq 1$$

$$!X_{621}+X_{622}\leq 1$$

$$!X_{631}+X_{632}\leq 1$$

$$X_{641}+X_{642}\leq 1$$

!3RA RESTRICCIÒN

$$X_{111}+X_{112}+X_{211}+X_{212}+X_{311}+X_{312}+X_{411}+X_{412}+X_{511}+X_{512}+X_{611}+X_{612}=3$$

$$X_{121}+X_{122}+X_{221}+X_{222}+X_{421}+X_{422}+X_{521}+X_{522}=3$$

$$X_{131}+X_{132}+X_{231}+X_{232}+X_{431}+X_{432}+X_{531}+X_{532}=3$$

$$X_{141}+X_{142}+X_{241}+X_{242}+X_{341}+X_{342}+X_{441}+X_{442}+X_{541}+X_{542}+X_{641}+X_{642}=3$$

!4TA RESTRICCIÒN

$$X_{111}+X_{112}+X_{121}+X_{122}+X_{141}+X_{142}\leq 2$$

$$X_{121}+X_{122}+X_{131}+X_{132}+X_{141}+X_{142}\leq 2$$

$$X_{211}+X_{212}+X_{221}+X_{222}+X_{241}+X_{242}\leq 2$$

$$X_{211}+X_{212}+X_{231}+X_{232}\leq 2$$

$$X_{321}+X_{322}+X_{331}+X_{332}+X_{341}+X_{342}\leq 2$$

$$X_{311}+X_{312}+X_{331}+X_{332}\leq 2$$

$$X_{411}+X_{412}+X_{421}+X_{422}+X_{441}+X_{442}\leq 2$$

$$X_{421}+X_{422}+X_{431}+X_{432}+X_{441}+X_{442}\leq 2$$

$$X_{511}+X_{512}+X_{521}+X_{522}+X_{541}+X_{542}\leq 2$$

$$X_{511}+X_{512}+X_{531}+X_{532}\leq 2$$

$$X_{621}+X_{622}+X_{631}+X_{632}+X_{641}+X_{642}\leq 2$$

$$X_{611}+X_{612}+X_{631}+X_{632}\leq 2$$

END

INT X111

INT X112

INT X121

INT X122

INT X131

INT X132

INT X141

INT X142

INT X211

INT X212

INT X221
INT X222
INT X231
INT X232
INT X241
INT X242
INT X311
INT X312
INT X321
INT X322
INT X331
INT X332
INT X341
INT X342
INT X411
INT X412
INT X421
INT X422
INT X431
INT X432
INT X441
INT X442
INT X511
INT X512
INT X521
INT X522
INT X531
INT X532

INT X541

INT X542

INT X611

INT X612

INT X621

INT X622

INT X631

INT X632

INT X641

INT X642

Anexo 02: Modelo matemático en la segunda etapa

!FUNCIÓN OBJETIVO

Min

$$\begin{aligned} &59X_{111}+68X_{112}+60X_{121}+71X_{122}+40X_{131}+80X_{132}+51X_{141}+36X_{142}+ \\ &59X_{411}+68X_{412}+60X_{421}+71X_{422}+40X_{431}+80X_{432}+51X_{441}+36X_{442}+ \\ &X_{211}+20X_{212}+31X_{221}+22X_{222}+53X_{231}+30X_{232}+2X_{241}+14X_{242}+ \\ &X_{511}+20X_{512}+31X_{521}+22X_{522}+53X_{531}+30X_{532}+2X_{541}+14X_{542}+ \\ &21X_{311}+10X_{312}+X_{321}+26X_{322}+7X_{331}+41X_{332}+7X_{341}+19X_{342}+ \\ &21X_{611}+10X_{612}+X_{621}+26X_{622}+7X_{631}+41X_{632}+7X_{641}+19X_{642} \end{aligned}$$

ST

!1ERA RESTRICCIÓN

$$\begin{aligned} &X_{111}+X_{121}+X_{131}+X_{141} \leq 1 \\ &X_{112}+X_{122}+X_{132}+X_{142} \leq 1 \\ &X_{211}+X_{221}+X_{231}+X_{241} \leq 1 \\ &X_{212}+X_{222}+X_{232}+X_{242} \leq 1 \\ &X_{311}+X_{321}+X_{331}+X_{341} \leq 1 \\ &X_{312}+X_{322}+X_{332}+X_{342} \leq 1 \\ &X_{411}+X_{421}+X_{431}+X_{441} \leq 1 \\ &X_{412}+X_{422}+X_{432}+X_{442} \leq 1 \\ &X_{511}+X_{521}+X_{531}+X_{541} \leq 1 \\ &X_{512}+X_{522}+X_{532}+X_{542} \leq 1 \\ &X_{611}+X_{621}+X_{631}+X_{641} \leq 1 \\ &X_{612}+X_{622}+X_{632}+X_{642} \leq 1 \end{aligned}$$

!2DA RESTRICCIÓN

$$\begin{aligned} &X_{112} \leq 1 \\ &X_{121}+X_{122} \leq 1 \\ &X_{131} \leq 1 \\ &X_{141}+X_{142} \leq 1 \\ &X_{212} \leq 1 \\ &X_{221}+X_{222} \leq 1 \\ &X_{231} \leq 1 \\ &X_{241}+X_{242} \leq 1 \\ &X_{312} \leq 1 \end{aligned}$$

$$!X321+X322 \leq 1$$

$$!X331+X332 \leq 1$$

$$X341+X342 \leq 1$$

$$X412 \leq 1$$

$$X421+X422 \leq 1$$

$$X431 \leq 1$$

$$X441+X442 \leq 1$$

$$X512 \leq 1$$

$$X521+X522 \leq 1$$

$$X531 \leq 1$$

$$X541+X542 \leq 1$$

$$X612 \leq 1$$

$$!X621+X622 \leq 1$$

$$!X631+X632 \leq 1$$

$$X641+X642 \leq 1$$

!3RA RESTRICCIÓN

$$X112+X212+X312+X412+X512+X612=3$$

$$X121+X122+X221+X222+X421+X422+X521+X522=3$$

$$X131+X231+X431+X531=3$$

$$X141+X142+X241+X242+X341+X342+X441+X442+X541+X542+X641+X642=3$$

!4TA RESTRICCIÓN

$$X112+X121+X122+X141+X142 \leq 2$$

$$X121+X122+X131+X141+X142 \leq 2$$

$$X212+X221+X222+X241+X242 \leq 2$$

$$X212+X231 \leq 2$$

$$X321+X322+X331+X341+X342 \leq 2$$

$$X312+X331 \leq 2$$

$$X412+X421+X422+X441+X442 \leq 2$$

$$X421+X422+X431+X441+X442 \leq 2$$

$X_{512}+X_{521}+X_{522}+X_{541}+X_{542}\leq 2$

$X_{512}+X_{531}\leq 2$

$X_{621}+X_{622}+X_{631}+X_{641}+X_{642}\leq 2$

$X_{612}+X_{631}\leq 2$

END

INT X111

INT X112

INT X121

INT X122

INT X131

INT X132

INT X141

INT X142

INT X211

INT X212

INT X221

INT X222

INT X231

INT X232

INT X241

INT X242

INT X311

INT X312

INT X321

INT X322

INT X331

INT X332

INT X341

INT X342

INT X411

INT X412

INT X421

INT X422

INT X431
INT X432
INT X441
INT X442
INT X511
INT X512
INT X521
INT X522
INT X531
INT X532
INT X541
INT X542
INT X611
INT X612
INT X621
INT X622
INT X631
INT X632
INT X641
INT X642